

MODIFICAÇÕES FLUVIAIS À JUSANTE DE BARRAGENS



ALESSANDRA GONÇALVES SIQUEIRA
IPT/ SP – Brasil
E-mail: agsique@ipt.br

ADALBERTO AURÉLIO AZEVEDO
IPT/ SP – Brasil
E-mail: azevedoa@ipt.br

LUIZ ANTONIO PEREIRA DE SOUZA
IPT/ SP – Brasil
E-mail: laps@ipt.br

MARIUCHA DA SILVA
IPT/ SP – Brasil
E-mail: mariucha@ipt.br

RESUMO ABSTRACT

Este trabalho apresenta alguns conceitos fundamentais sobre alterações na dinâmica fluvial à jusante de barragens, problema que, apesar de relevante e motivo de preocupação em outros países, é pouco estudado pela engenharia de barragens no Brasil. Os sistemas fluviais resultam da interação entre diversos processos geológicos e geomorfológicos e sua morfologia reflete todas as variações espaciais e temporais a que os canais fluviais estiveram submetidos ao longo de seu desenvolvimento, alcançando, em determinado tempo e local, um equilíbrio dinâmico. Barragens interceptam o fluxo natural do rio e causam profundas modificações hidrológicas nos sistemas fluviais como um todo, tanto a jusante como a montante. A jusante, em particular, as alterações mais evidentes são as variações nas vazões e velocidades de fluxo, as alterações na quantidade, tipo e granulometria dos sedimentos transportados, alterações nas formas dos canais, dentre outras. São apresentados alguns métodos para análises qualitativas e quantitativas das modificações na dinâmica fluvial a jusante de barragens que veem sendo utilizados no Brasil e no exterior, esperando que esta contribuição possa iniciar discussões a respeito do tema, cujas

This paper presents some fundamental concepts about changes in fluvial dynamics downstream of dams, a question that, even though relevant and of concern in other countries, is little studied by engineers of dams in Brazil. Fluvial systems are the result of interaction among geological and geomorphological processes and their morphology reveals all spatial and temporal variations which fluvial channels were subjected to during this development, reaching a dynamic equilibrium in a certain time and place. Dams intercept the natural flow of rivers, trap the sediment load of the upstream and cause changes in the downstream hydrological system. The more evident changes downstream from the dams are variations in the magnitude of river flow, water discharges; reduced in the river's sediment load, bed material sizes, channel adjustment and so on. This paper describe some methods for quantitative and qualitative analysis of changes in river dynamics downstream of the dams that are being applied in Brazil and abroad, hoping that this contribution can start discussions concerned with the subject whose implications are beyond those

implicações, além daquelas mais evidentes, como as implicações ambientais, por exemplo, também podem ser menos perceptíveis à primeira vista, como reflexos na economia local e regional.

Palavras-chave: dinâmica fluvial, barragens, alterações a jusante, métodos de análise.

1 INTRODUÇÃO

Alterações na dinâmica fluvial a jusante de barragens tem sido um assunto pouco estudado pela engenharia de barragens no Brasil, embora seja tema relevante, particularmente em termos ambientais. Nesse sentido, este trabalho apresenta alguns conceitos, cujo objetivo é promover a discussão dos principais aspectos relacionados à dinâmica fluvial e às influências e respostas das muitas variáveis que, quando modificadas, interagem para compor a geometria de um canal fluvial, bem como apresentar alguns métodos qualitativos e quantitativos de análise de alterações a jusante de barragens.

2 MODIFICAÇÕES À JUSANTE DE BARRAGENS

Sistemas fluviais são sistemas abertos, caracterizados pelas trocas de energia e matéria com os demais sistemas que os circundam. Exercem papel fundamental no controle e transporte dos sedimentos e formam ambientes importantes, tanto social quanto economicamente.

A dinâmica fluvial abrange os processos de remoção, transporte e deposição de partículas, envolvendo toda a bacia de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1977).

Na escala de bacia hidrográfica, a geologia, incluindo as propriedades físicas do substrato rochoso, e suas características tectônicas e estruturais, interage com o clima e irá atuar na conformação da topografia, englobando o relevo e o padrão de drenagem desenvolvido, bem como determinará a distribuição granulométrica e a taxa de sedimentos fornecidos ao sistema fluvial. Associado às características geológicas, o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, que resulta de uma influência mútua entre topografia e clima, contribui no controle das características e do

more obvious, such as environmental issues, and may also have other consequences less notice at first glance, as reflected in local and regional economy.

Keywords: river dynamics, dam, downstream, changes.

regime de descarga dos cursos fluviais, exercendo influência sobre a formação de materiais intemperizados e o transporte destes até os rios.

A morfologia fluvial reflete as variações espaciais e temporais dos processos geológicos e geomorfológicos a que os canais estiveram submetidos ao longo de seu desenvolvimento. Em uma escala de tempo geológico, as feições fluviais respondem às mudanças impostas por soerguimentos tectônicos, erosões e esculturações do relevo e às mudanças climáticas. Em um intervalo de tempo menor (em uma série histórica, de 10 até mais de 100 anos), os canais fluviais respondem às alterações na descarga e no aporte de sedimentos gerados tanto em situações naturais (eventos de cheia) quanto pelos efeitos diretos da atuação humana, podendo sofrer variações em sua forma, largura, profundidade, gradiente e rugosidade do leito e no tamanho das partículas transportadas para atingir um novo equilíbrio.

Os padrões dos canais retratam as condições hidrodinâmicas de transporte e de deposição dos sedimentos e são controlados pelos seguintes fatores (MIALL, 1981 *apud* RICOMINNI & COIMBRA, 1995):

- Descarga líquida (vazão): quantidade e variabilidade;
- Descarga sólida (carga de sedimentos): quantidade, tipo e granulometria;
- Ajuste morfológico do canal (largura e profundidade);
- Velocidade de fluxo;
- Declividade e rugosidade do leito do canal;
- Densidade da cobertura vegetal em suas margens.

A construção e operação de barragens promovem modificações no regime de fluxo e de transporte de sedimentos e introduzem um novo processo no canal, podendo causar efeitos substanciais na estabilidade do rio à jusante. As

mudanças impostas pela implantação de barragens podem ser assim sintetizadas:

- redução na descarga sólida (carga de sedimentos) e alteração no regime de fluxo;
- redução na descarga líquida (magnitude do fluxo) e conseqüente ausência de picos de cheia;
- desencadeamento do ajuste do rio a fim de estabelecer um novo equilíbrio entre o canal e a descarga sólida, como resposta às mudanças artificialmente introduzidas;
- alteração no padrão dos canais e no sistema de erosão/deposição preexistente.

O ajuste e a acomodação do canal a jusante de barragens inclui variáveis hidráulicas como largura, profundidade e gradiente, os quais podem

ser alcançados por degradação (erosão do leito e das margens) ou agradação do canal (deposição de material) ou mudanças em sua forma e em seu padrão. Em geral, o ajuste apresenta-se inicialmente por degradação do canal, fase em que ocorre o rebaixamento do leito e a remoção de sedimentos próximos à barragem, podendo migrar para jusante por distâncias consideráveis. A extensão da área alcançada pela alteração à jusante da barragem é denominada zona degradada, a qual pode alcançar centenas de quilômetros. O tipo, a taxa e a extensão da degradação do canal são controlados pelos fatores listados na Tabela 1, que resume as mudanças esperadas nas características dos canais frente às alterações de suas variáveis.

Tabela 1 – Resposta esperada nas características dos canais fluviais frente às modificações impostas em suas variáveis ou em suas condições ambientais (modificado de *US Army Corps of Engineers, 1994*).

Variável sujeita à modificação	Natureza da modificação	Modificações esperadas nas características do canal				
		L	P	D	FP	EM
Descarga	aumento	aumento	aumento	redução	nenhuma modificação indicada	aumento
	redução	redução ou sem modificação*	redução	aumento ou sem modificação*	nenhuma modificação indicada	redução
Aporte de sedimentos para o leito	aumento	não evidente	redução	aumento	aumento das barras e da divisão do canal	possibilidade de aumento
	redução	não evidente	aumento	redução	menor divisão do canal	possibilidade de redução
Granulometria do leito	aumento	insignificante	redução	modificação notada	não evidente	não evidente
	redução	insignificante	aumento	possibilidade de redução	não evidente	não evidente
Condições da margem	acréscimo de proteção	possibilidade de redução	possibilidade de aumento localizado	nenhuma modificação indicada	conforme a proteção executada	redução localizada, probabilidade de aumento à jusante da proteção
	remoção da vegetação	aumento	possibilidade de redução	sem modificação	aumento das barras	aumento

* dependendo da disponibilidade de sedimento para deposição

L = largura D = declividade EM = erosão das margens P = profundidade FP = forma do canal em planta

2.1 Descarga líquida (vazão)

Conforme o propósito da barragem construída, a descarga líquida pode aumentar, permanecer a mesma ou diminuir seu valor original e, independente dos modelos de controle de descarga

implementados, sua distribuição será diferente do fluxo natural. A alteração nos valores de descarga influencia o tamanho, a largura e o rebaixamento dos canais, sua vegetação e os eventos de cheia que, em geral, tendem a ser suprimidos.

2.2 Descarga sólida (carga de sedimentos)

O aporte de sedimentos se origina em áreas de drenagem a montante do reservatório e seu transporte para o interior do mesmo é feito por meio dos rios e canais principais. A quantidade de sedimentos transportada depende das características de erosão e de deposição da área drenada e das características hidráulicas do canal. Com a implantação da barragem, ocorre a redução no fornecimento de carga de sedimentos, que ficam aprisionados a montante do empreendimento. A água que passa a escoar do reservatório sai praticamente limpa, desprovida de sua carga de sedimentos, e com forte tendência para erodir (também denominada “água faminta” - *hungry water*). O rio, até atingir um novo equilíbrio, busca repor

o sedimento “perdido” (retido a montante da barragem), erodindo suas margens e ilhas, aprofundando ou estreitando seu canal e, por vezes, modificando seu padrão. A distância para jusante até onde ocorrerá *déficit* de sedimentos, é determinada pela distância até os primeiros canais tributários que possam contribuir com sedimentos ao rio e regularizar a sua situação. As condições deficitárias perduram quando não há eventos de cheia e quando as distâncias até um canal tributário maior são longas. A Figura 1 exibe as alterações na concentração de sedimentos em suspensão à jusante de uma barragem na região de Oklahoma, nos Estados Unidos. Nota-se que a redução de sedimentos é muito significativa próxima à barragem e permanece reduzida até uma distância de 140 km à jusante.

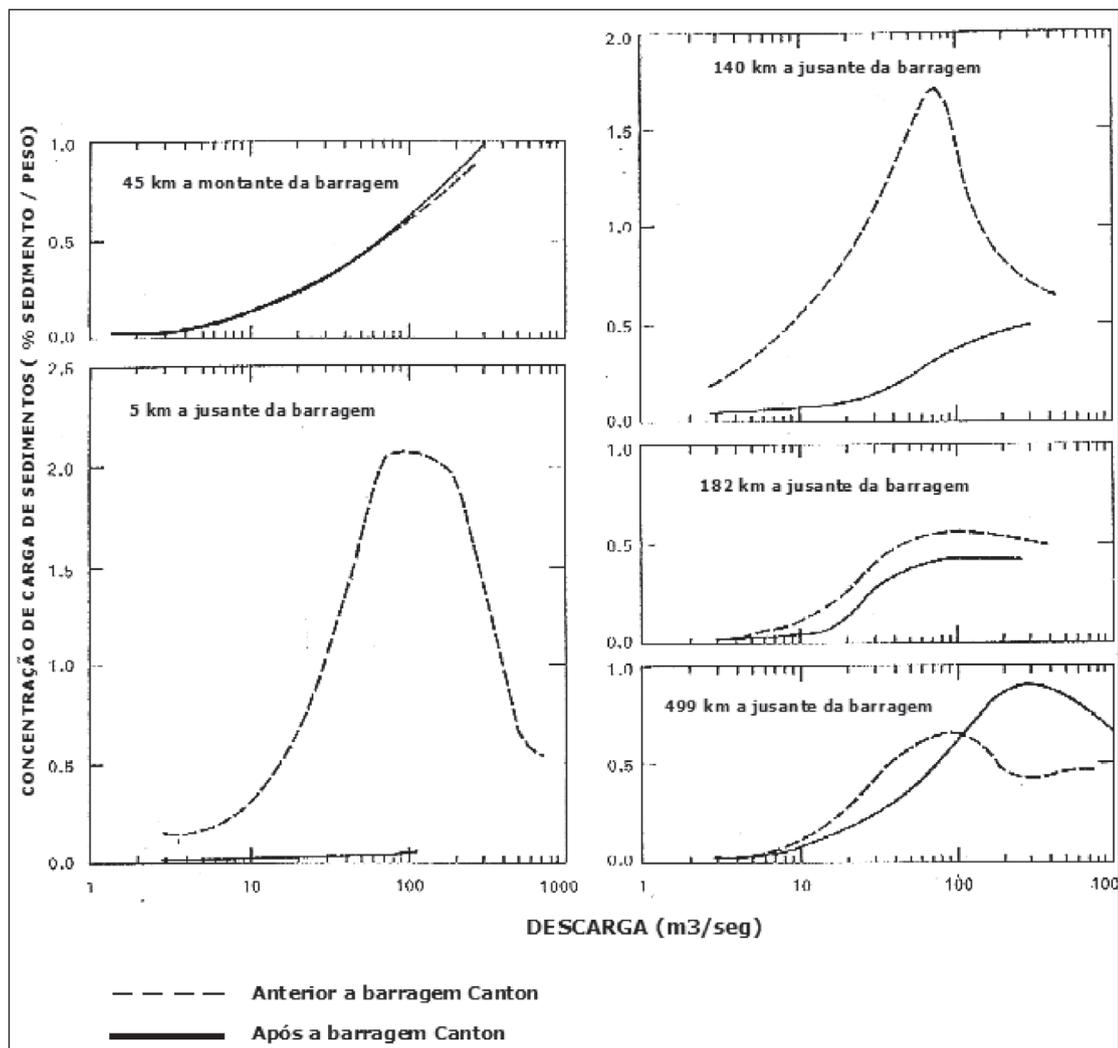
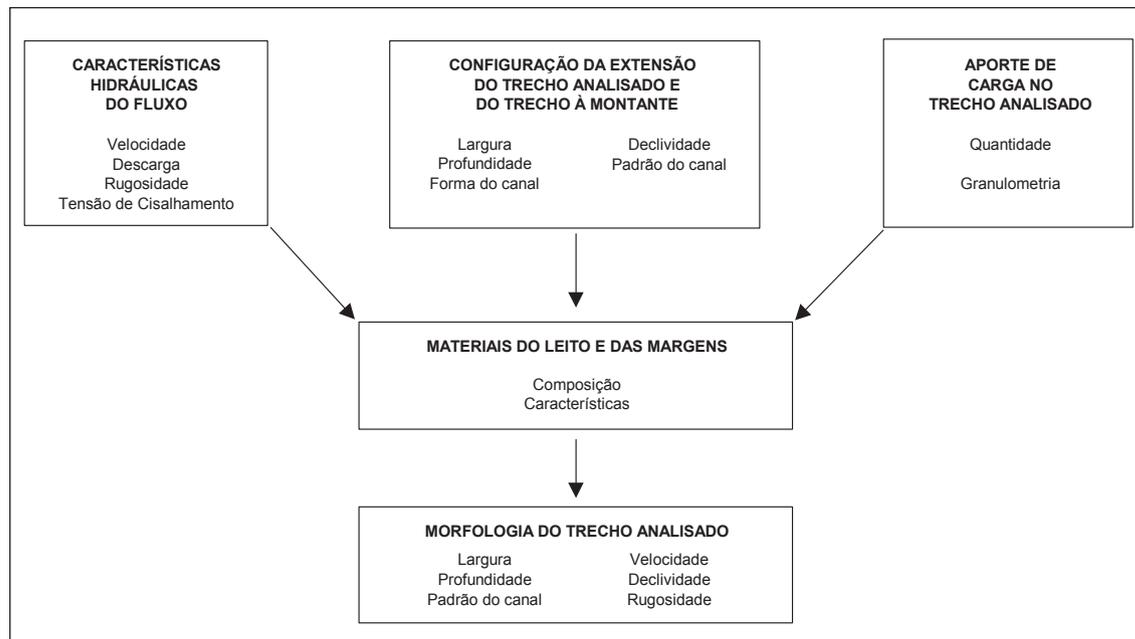


Figura 1 - Concentração de sedimentos em suspensão transportados por diferentes descargas, em sucessivas estações de monitoramento, a jusante da Barragem Canton, Oklahoma, Estados Unidos (modificado de Williams & Wolman, 1984)

2.3 Ajuste morfológico do canal

O comportamento e o ajuste morfológico de canais é o resultado da combinação de variáveis independentes e dependentes entre si, como geologia, clima, vegetação, descarga, dimensões do vale, declividade, largura e profundidade do canal, solos e uso da terra. Enquanto as descargas sólida e líquida são “variáveis-chave”, que determinam toda a geometria do canal fluvial, a morfologia de um

rio, em qualquer trecho, é resultado de uma complexa interação de muitas variáveis (Figura 2). A alteração em qualquer uma dessas variáveis irá promover modificação nas outras até que uma nova condição de equilíbrio do canal se estabeleça. O ajuste do canal se processa por degradação ou aggradação, redução ou excesso na carga de leito, respectivamente, podendo sofrer, em casos extremos, modificações em seu padrão deposicional.



Figuras 2 - Variáveis que influenciam a morfologia fluvial (Morisawa, 1985, modificado de Locher et al., 2002).

A interação das condições hidráulicas do canal (gradiente, mergulho, largura da seção e rugosidade do leito) exerce controle em sua resistência e interferem na velocidade de transporte de sedimentos.

A carga de sedimentos que um rio pode transportar define sua capacidade, que é função do gradiente e do regime de fluxo. O tamanho de partículas que podem ser transportadas define a competência do fluxo, a qual depende da velocidade. Quanto maior o gradiente de um canal, mais rápido será seu fluxo, ou seja, maior sua velocidade e maior seu transporte de sedimentos. A característica geológica do material do leito (composição) controla sua rugosidade e interfere na velocidade de fluxo do canal. Leitos lisos e suaves permitem maiores velocidades de fluxo, enquanto que em leitos rugosos, esta velocidade tende a ser

menor. As alterações nas características do canal a jusante de barragens estão associadas aos seus processos de operação como controle da descarga (frequência e magnitude) e redução no aporte de sedimentos. Essas alterações dependem da interação de três fatores: a regulação do fluxo, a resistência dos materiais do leito e das margens à erosão e a quantidade e a natureza das fontes de sedimentos disponíveis a jusante. Os efeitos geomorfológicos introduzidos pela mudança no regime de fluxo e na redução do aporte de sedimentos são, inicialmente, de degradação do canal a jusante da barragem. O gradiente original do canal entre a barragem e o controle geológico local será reduzido para um novo gradiente até que se estabeleça um novo equilíbrio e que haja sedimento disponível a jusante (Figura 3).

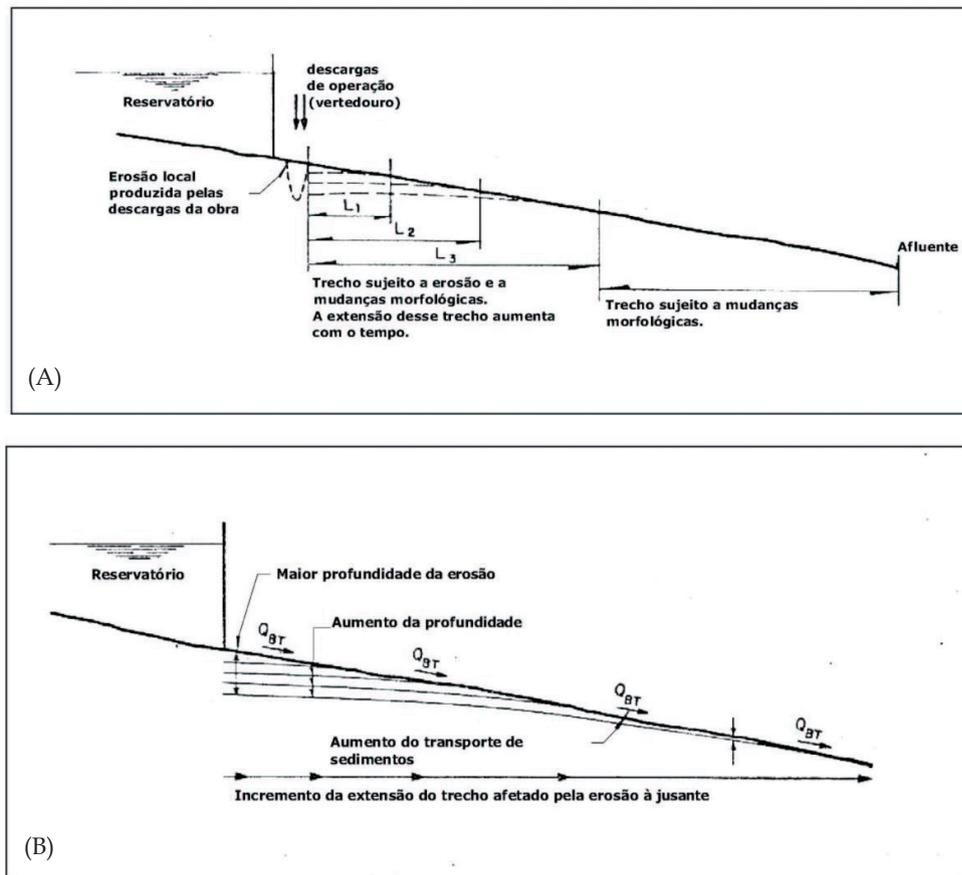


Figura 3 - Alterações a jusante de barragens (A) e efeitos da erosão à jusante (B) (modificado de Alvarez, 1986)

De acordo com a susceptibilidade à erosão dos materiais constituintes do leito e das margens, a degradação pode vir acompanhada de aumento ou diminuição na largura (migração lateral) e profundidade do canal (Figura 4). Um aumento na sedimentação (agradiação) poderá ocorrer em trechos mais distantes da barragem, pois todo o material mobilizado do leito, das margens ou dos tributários, não poderá ser transportado tão rapidamente através de um canal com vazões controladas.

2.4 Composição do material do leito e das margens

A composição (original) dos materiais do leito e das margens é importante, pois implica maior ou menor resistência ao novo regime de fluxo imposto pela barragem. O perfil do leito a jusante é afetado por essas diferenças, tanto em distância quanto em profundidade. A redução do aporte de sedimentos promove mudanças no equilíbrio

natural de transporte dos materiais preexistentes e, conseqüentemente, em seu padrão de sedimentação. O ajuste morfológico do canal tende a ser maior quando a carga de fundo é arenosa, enquanto que, em leitos mistos (areia - cascalho - pedregulho), a degradação do canal ocorre até que o fluxo perca energia para remover o material do fundo. À medida que o sedimento mais fino é removido, a porção mais resistente do leito é exposta, o que acarreta menor erosão. Quando não há erosão do leito, o canal poderá desenvolver erosão em suas margens e sofrer mudanças em sua largura. A taxa de erosão nas margens será proporcional ao regime de descarga estabelecido e ao tempo em que a margem estará sujeita à ação do fluxo (magnitude e frequência). As margens arenosas apresentam maior susceptibilidade à ação erosiva e, dependendo da oscilação do fluxo, a erosão irá ocorrer na base dos depósitos, formando praias, as quais nem sempre conferem proteção às margens. Em margens compostas (areia - silte - argila), a erosão se desenvolve por colapsos (queda

vertical de blocos) provocados pela remoção do sedimento arenoso do pé da margem. As margens coesivas, (argilosas) apresentam maior resistência à erosão e retardam o alargamento do canal, pois sofrem pequenas perdas de material devido à contração e ao ressecamento ocasionado pelas variações sazonais.

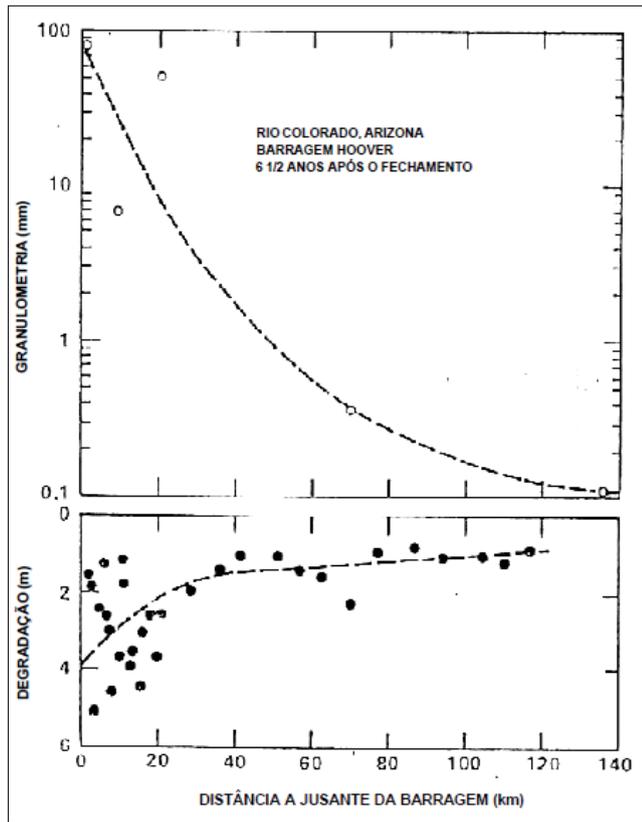


Figura 4 - Variação no diâmetro do material do leito e degradação do leito com a distância a jusante após o fechamento da barragem (modificado de Williams & Wolman, 1984)

2.5 Vegetação

Os tipos de vegetação existentes dentro e ao longo do canal, bem como sua distribuição espacial, tamanho e idade aproximados, refletem as condições do regime fluvial e auxiliam na avaliação do balanço de sedimentos e de seu comportamento hidrológico frente aos eventos de cheia. A presença de vegetação amortece a turbulência local gerada pelo fluxo do canal e reduz sua velocidade próxima às margens, atenuando sua pressão e seus efeitos erosivos. A função protetora da vegetação varia de acordo com seu tipo, densidade e região de ocorrência. Em áreas estáveis, a vegetação apresenta-se desenvolvida e contribui para

maior coesão dos materiais da margem, enquanto que em regiões com depósitos mais recentes, esta pode apresentar-se em fase de desenvolvimento, com maior susceptibilidade à remoção.

3 MÉTODOS DE ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES A JUSANTE DE BARRAGENS

O comportamento de um rio está associado às características morfológicas e hidráulicas do canal, sua variabilidade natural e seus mecanismos de formação. Para avaliar os efeitos geomorfológicos gerados pela implantação de uma barragem, é necessário focar as mudanças hidrológicas e de fluxo de sedimentos em um arranjo geológico de ampla escala, com controle da fonte, do volume de água e de sedimentos transportados, tanto a montante quanto a jusante da barragem. A extensão das mudanças impostas poderá variar conforme a natureza e a operação do empreendimento, o tempo de construção e suas sucessivas etapas de intervenção. A data mais representativa a ser considerada como início das mudanças impostas no canal deve ser a da fase inicial da construção da barragem e, a análise das alterações decorrentes da intervenção, deverá ser feita por meio da avaliação de um conjunto de informações listadas a seguir.

3.1 Interpretação de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite e mosaicos

Os mapas topográficos de diferentes escalas podem indicar a natureza do sistema fluvial, sua geometria, o padrão fluvial (forma em planta), sua relação com a planície de inundação e o controle fisiográfico do relevo (formas de relevo e declividade). As fotografias aéreas são utilizadas para o estudo das alterações no sistema fluvial, pois permitem a diferenciação do material geológico e de seu controle estrutural, a observação dos padrões de deposição de sedimentos, de formação das barras e da evolução do recuo das margens, dos locais com erosão e da forma do canal em planta, em diferentes períodos (Figura 5). As imagens de satélite também são úteis na avaliação das características do sistema fluvial, do uso da terra e das mudanças ocorridas. A análise de mosaicos,

construídos a partir de registros de sonar de varredura lateral, pode ser utilizada para delimitar o contato entre a parte imersa e emersa, tanto de margens de rios como de ilhas existentes ao longo de seu canal, caracterizar o tipo de sedimento de fundo, localizar feições características do fluxo de um rio, como bancos de areia e *ripple marks*, entre outros. Tais ferramentas, utilizadas sistematicamente em intervalos de períodos determinados, podem ajudar na caracterização da evolução do rio ao longo dos anos. A aplicação de *softwares*, tais como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o maior detalhamento nas escalas das imagens, permitem elaborar análises mais detalhadas, como as mudanças no uso da terra, os pontos de formação de barras, a movimentação de margens, a migração de meandros e as mudanças na planície de inundação.

3.2 Caracterização da descarga líquida

A descarga líquida (vazão) deve ser avaliada por meio da comparação dos registros históricos das curvas cota-vazão das estações mais próximas e mais distantes da barragem (montante e jusante), em períodos anteriores e posteriores à sua implantação. Os dados históricos das estações devem ser de, no mínimo, dez anos anteriores à construção da barragem, pois permitem analisar se a descarga líquida está sofrendo alterações reais ou se estas se devem apenas à regularização das vazões (JURACEK, 2000). O registro de uma estação representará a variação da descarga no tempo em seu local específico, o que não reflete necessariamente o comportamento do rio a montante e

a jusante da estação. Por esta razão, é necessário analisar dados de estações distribuídas ao longo do trecho de interesse, cujos registros permitem entender como todo o sistema tem respondido às variações na descarga líquida. Os dados de descarga líquida são utilizados para determinar quais os efeitos da barragem na magnitude e na frequência de distribuição do fluxo a jusante.

3.3 Caracterização dos sedimentos

A caracterização dos sedimentos a jusante de barragens deve ser feita por meio da análise da distribuição granulométrica, com a amostragem dos materiais do canal e das margens. O tipo e a granulometria dos sedimentos são necessários ao entendimento do comportamento hidráulico do canal e da resistência mecânica das margens. Os locais e a frequência de amostragem devem ser estabelecidos com base em análises prévias de inspeções de campo, em mapas e fotografias aéreas e de acordo com a extensão da área avaliada. A amostragem no canal é realizada em seções transversais ao rio, em diferentes posições, de modo que estas sejam representativas do material transportado. São efetuadas medidas de descarga sólida em suspensão e caracterização granulométrica dos sedimentos do leito. Os amostradores e as técnicas de amostragem são definidos de acordo com as características de transporte do rio e de seu padrão de sedimentação. A amostragem dos materiais das margens é feita *in situ*, de acordo com sua variabilidade vertical e horizontal, para posterior caracterização granulométrica e avaliação de outros parâmetros geotécnicos de interesse.

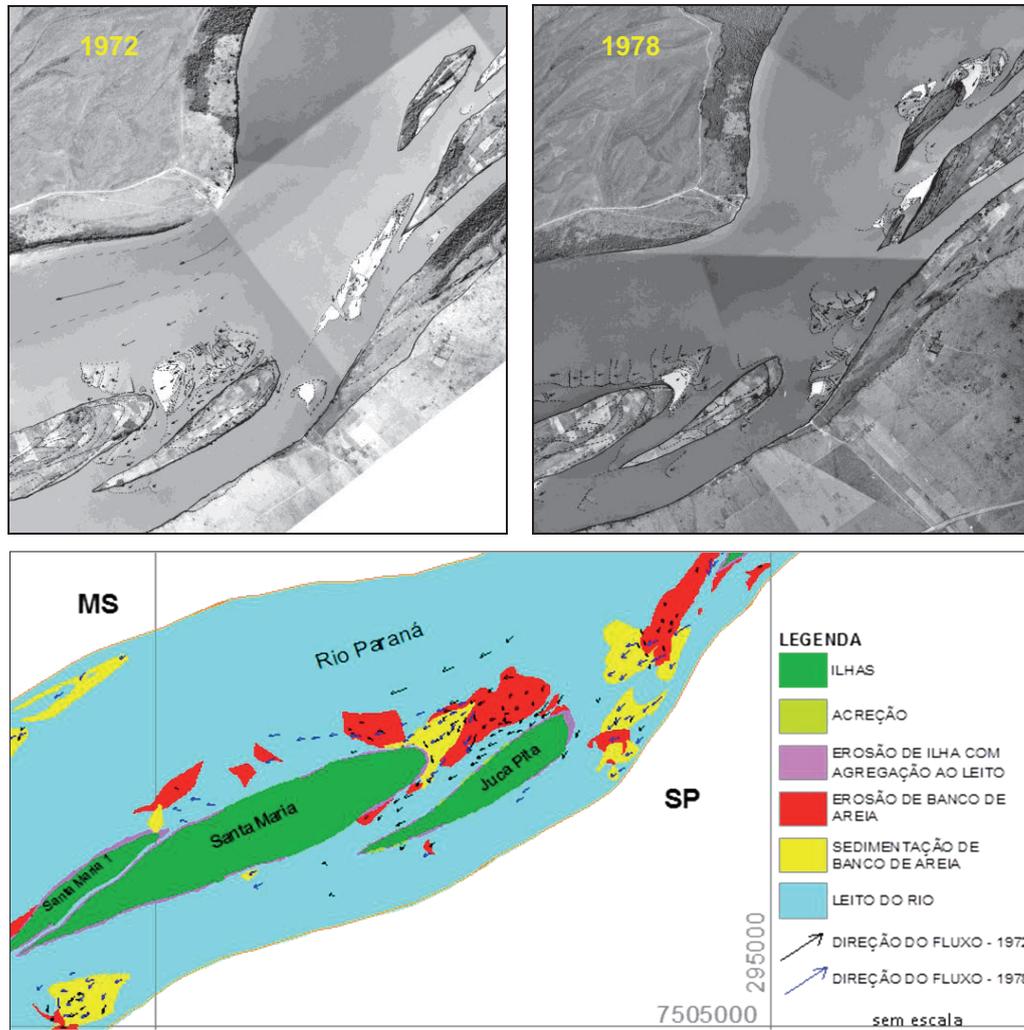


Figura 5 – Exemplo de análise multitemporal e resultados obtidos

3.4 Variação na elevação do leito do canal

A análise das modificações no leito é feita a partir da comparação de dados de seções batimétricas transversais ao fluxo principal do rio, em períodos anteriores e posteriores à implantação da barragem, com a geração de gráficos de elevação e/ou rebaixamento do leito para cada seção. A definição dos locais e do espaçamento das seções deverão ser o suficiente para se determinar a capacidade de transporte do canal e se identificar os locais das mudanças, no trecho analisado. Os levantamentos batimétricos comumente são realizados por ecobatímetros monofeixes, digitais e de dupla frequência, o que garante a qualidade do levantamento tanto de áreas rasas, com a frequência mais alta, quanto de áreas mais profundas, com a frequência mais baixa. Esta técnica permite traçar

a geometria de fundo por meio de perfis ou a visualização completa desta superfície, por meio da interpolação de dados e construção de um mapa de contorno. Sistemas mais modernos de batimetria multifeixe, podem fazer a varredura total do fundo com menos linhas geofísicas e menos tempo que a batimetria monofeixe, cobrindo completamente a superfície de fundo de forma mais rápida e precisa. Ambas as técnicas podem caracterizar alguns aspectos da superfície do fundo do rio, tais como contatos marcantes entre sedimentos e materiais rochosos, mobilidade do fundo do rio, entre outros (Figura 6). Os resultados são associados aos valores de descarga líquida e aos resultados das caracterizações granulométricas, auxiliando, então, na identificação dos trechos modificados e de sua extensão.

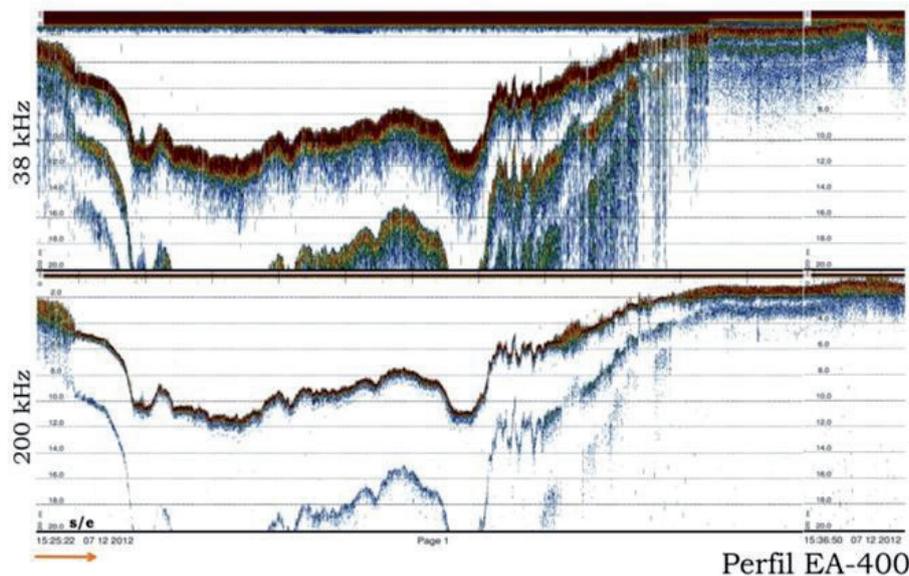


Figura 6 – Exemplo de perfil batimétrico obtido à jusante de uma barragem

3.5 Medidas de erosão marginal

As medidas de erosão marginal são realizadas direta e indiretamente. As medições indiretas utilizam a comparação de mapas antigos e fotografias aéreas (apresentada no Item 3.1), além de evidências biológicas e sedimentares, enquanto que, para as medições diretas, são empregados os métodos dos pinos, das perfilagens sucessivas, da estaca e do registro fotográfico (Figura 7). O método dos pinos consiste na inserção de pinos metálicos na face dos taludes das margens e ilhas monitoradas, cujo recuo é medido segundo o grau de exposição apresentado pelo pino. É o mais indicado para medidas de erosão marginal no campo (FERNANDEZ, 1990), principalmente quando as taxas de erosão atingem valores relativamente baixos.

O método das estacas consiste na instalação de uma série de estacas de madeira na superfície do terreno, na mesma direção do pino instalado e perpendicularmente à face do talude monitorado, permitindo quantificar o recuo da crista do talude instrumentado. O método das perfilagens sucessivas consiste de um levantamento topográfico sistemático e sucessivo do perfil do talude monitorado, o que permite acompanhar sua evolução, medindo todas as variações na geometria do perfil, sejam elas na superfície do talude, junto à margem ou abaixo da linha d'água.

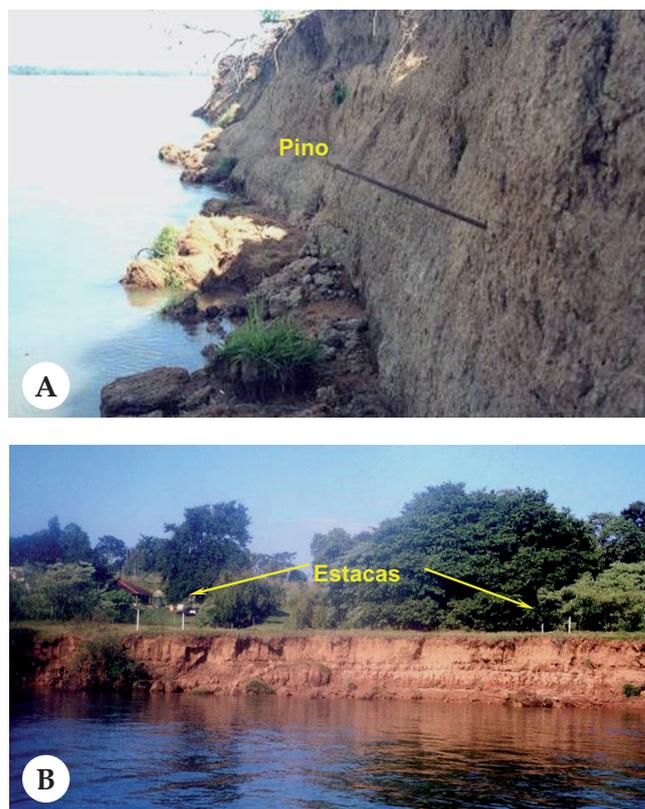


Figura 7 – A) pino instalado em margem de ilha e B) estacas implantadas na margem para medidas de erosão

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos de erosão à jusante de barragens vêm sendo desenvolvidos de modo ainda muito tímido pelo meio técnico nacional, destacando-se,

nesse cenário, os trabalhos realizados no rio Paraná em seu trecho não barrado, sejam aqueles relacionados ao estudo de sua dinâmica fluvial propriamente dita (SOUZA FILHO, 2008) sejam aqueles relacionados às alterações decorrentes da construção de barragens (MANYARI, 2007; SIQUEIRA, 2010). Cabe destacar que as alterações na dinâmica fluvial promovidas pela implantação de barragens podem alcançar de dezenas a centenas de quilômetros a jusante, como demonstrado pela bibliografia técnica nacional e internacional. Afora as implicações ambientais, como perda de áreas de preservação permanente, diversas outras implicações também são extremamente importantes, como aquelas relacionadas à navegação, prejuízos à fauna e flora fluviais, à perda de terras, etc. Considerando os eventos recentes associados a empreendimentos energéticos na região norte do país, destaca-se que o espaço a jusante de barragens deve ser considerado como “área de influência do sítio hidroenergético implantado” e um condicionante ambiental a ser incorporado no inventário hidrelétrico do país (MANYARI, 2007).

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, J. A. M. Assoreamento de reservatórios e erosão do leito a jusante de barragens. In: *Congresso Latino-Americano de Hidráulica*, XII. São Paulo, 1986.

CHRISTOFOLETTI, A. A mecânica do transporte fluvial. *Revista Geomorfologia*, 51: pg. 1-42 (Instituto de Geografia, USP), 1977.

FERNANDEZ, O. V. Q. Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens. Região de Porto Rico, PR. Rio Claro, 86p. (*Dissertação*, IGCE/UNESP), 1990.

JURACEK, K. E. *Channel bed elevation changes downstream from large reservoirs in Kansas*. *Water Resources Investigations Report – 01-4205*. US Geological Survey (USGS), 28p, 2000. (<http://ks.water.usgs.gov/kansas/pubs/reports/wrir.01-4205.pdf>)

LOCHER, H.; Telfer, D.; Bresneham, S. *Downstream meander dam fluvial geomorphology assessment. Final Report. Hydro Tasmania & GECO Stream & Catchment Assessments*, 99p. <http://www.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/IMUY-5D26PA?open>. Appendix B, 2002.

MANYARI, W.V. Impactos ambientais a jusante de hidrelétricas. O caso da usina de Tucuruí, PA. Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 211p, 2007.

RICCOMINI, C; Coimbra, A.M. Sedimentação em rios entrelaçados e anastomosados. *Boletim IG-USP*, série didática, 6. 44p. 1995.

SIQUEIRA, A. G.; Azevedo, A. A.; Dozzi, L.F.S.; Kitahara, S. *Multitemporal analysis of the Dynamic Alteration on Parana Riverbed, downstream of Porto Primavera dam, Brazil*. 11th IAEG Congress, Auckland, New Zealand, 2010.

U.S. Army Corps of Engineers. *Channel stability assessment for flood control projects. Engineering and Design. Engineer Manual*. EM 1110-2-1418, 130p. <http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em1110-2-1418>, 1994.

WILLIAMS, G. P.; Wolman, M.G. *Downstream effects of dams on alluvial rivers*. *Geological Survey Professional Paper*, 1286. USGS, Washington. 83p. 1984.

SOUZA FILHO, E.E. Meio Físico, Geologia e Geomorfologia. Relatório anual – A planície alagável do alto rio Paraná, 2008. <http://www.peld.eum.br/Relat2008/pdf/Cap1.pdf>.

